

슬래그 엔지니어링에 의한 製銑 및 製鋼操業의 效率向上에 관한 研究

†朴柱炫 · 閔東晙 · 宋孝錫*

延世大學校 工科大學 金屬工學科

*浦項製鐵 技術研究所

Development of Iron and Steelmaking Processes by Slag Engineering Technology

†Joo Hyun Park, Dong Joon Min and Hyo Seok Song*

Department of Metallurgical Engineering, Yonsei University

*Research Lab., POSCO

요 약

21세기 철강산업에 요구되는 경제성, 환경친화성, 고효율성을 동시에 만족하는 슬래그 정련조업 조건을 슬래그 엔지니어링 개념에 입각하여 평가하였다. 제선 공정의 경우, 기존의 슬래그 조성에서 염기도를 증가시킴으로써 우수한 로내 통액성 및 향상된 용선 품질 확보가 가능할 것으로 평가되었으며, COREX 조업에서는 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 농도를 소량 감소시킴으로써 보다 우수한 유동성 및 정련능 확보가 가능한 것으로 예측되었다. 한편, Stainless Steel-AOD 공정의 경우, 소량의 CaO 농도 증가를 통하여 현재보다 양호한 정련능 확보가 가능함을 알 수 있었으며, 슬래그 중 $(\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 농도 증가를 통해 CaF_2 의 사용량 감소를 이룩할 수 있을 것으로 예측되었다.

주제어: 슬래그 엔지니어링, 염기도, 통액성, 유동성, 정련능

ABSTRACT

Current iron and steelmaking operation was re-evaluated on the basis of slag engineering technology to optimize slag operations. In blast furnace process, increase in the basicity of slags (C/S) could obtain progressed fluidity and hot metal quality. COREX process would be stabilized in view of slag fluidity and hot metal quality by reducing input content of SiO_2 and Al_2O_3 . In STS-AOD process, addition of small amount of lime could improve refining capacity of the slag; also calcium aluminate flux could be taken into account as a potential substitute for fluorspar, without degradation of operation efficiency and steel quality.

Key words: Slag engineering, Basicity, Fluidity, Hot metal quality, Steel cleanliness

1. 서 론

지금까지 철강을 대체하고자 하는 재료들이 지속적으로 개발되고 있음에도 불구하고 철강재료는 원료와 성능의 다양성으로 인하여 향후 21세기에도 주된 산업기반 소재로서의 위치를 점유할 것으로 평가되고 있다. 현

재 우리나라는 러시아, 독일 등과 함께 연간 4천만 톤 이상의 주요 철강 생산국으로서 지금까지의 철강 경쟁력을 유지하기 위해서는 고유기술의 확보, 특히 원천적인 원가절감, 친환경 제품 및 공정 개발 등이 21세기의 핵심과제라 할 수 있다.

단위 공정별 경쟁력을 좌우하는 에너지 및 원료 경쟁력은 궁극적으로 조업 안정화 및 정련효율성 향상에 기인하며, 최근 각 공정에서 발생하는 환경 비용의 극소화 또한 중요한 기술적 과제로 대두되고 있다.

* 2001년 5월 2일 접수, 2001년 5월 30일 수리

† E-mail: chemical@yonsei.ac.kr

슬래그 정련을 필수적으로 수반하는 제선 및 제강 공정에서의 슬래그 최적화 기술개념의 도입은 향후 철강 기술의 핵심영역이라 할 수 있다. 즉, 주어진 제반 조건에서 최적의 정련능 및 유동성 확보와 함께 환경 친화적인 슬래그를 설계함으로써 정련 조업의 효율향상 및 환경비용 저감이라는 목표를 동시에 달성할 수 있다.

슬래그 엔지니어링 측면에서, 제선 공정의 당면과제로는 용선의 탈황 및 [Si] 농도의 제어, 로내 통액성 최적화 기술 등을 들 수 있으며, 제강 공정에서는 슬래그의 재활용 촉진을 위한 슬래그 제어, 특히 고청정강 제조를 위한 개재물 제어와 극저농도 수준의 비금속 원소의 정련 등이 중요한 문제로 인식되고 있다. 이와 같은 당면과제들은 각 공정 특성에 부합하는 최적의 슬래그 설계라는 슬래그 엔지니어링 개념으로써 그 기술적 돌파구를 마련할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 제선 및 제강 공정 조건을 슬래그 엔지니어링 개념에 입각하여 평가함으로써 경제성, 환경 친화성, 고효율성을 동시에 만족하는 슬래그 조건을 검토하고자 하였다.

2. 이론적 배경

슬래그 최적화를 위해서는 점도와 같은 슬래그 물성 및 탈황능과 같은 정련능에 관한 정량화가 요구되며, 이를 특성은 모두 식 (1)과 같이 정의되는 염기도에 의존하는 합수로 알려져 있다.

$$\text{Basicity} \equiv a_O^{-2} \quad (1)$$

그러나 이온성 용액인 슬래그 중 자유 산소이온의 활동도는 열역학적으로 측정이 불가능하므로 다양한 간접적인 염기도 척도들이 제안되어 왔다. 공업적으로는 분자론적 관점에서의 척도라는 이론적 한계에도 불구하고, 염기성 산화물과 산성 산화물의 농도비, 특히 CaO와 SiO₂의 비가(Vee ratio, %CaO/%SiO₂) 가장 일반적으로 적용되고 있으나, 이에 대해 이온론에 기반한 염기도 척도에 관한 연구는 매우 기초적인 수준에 머물러 있는 실정이다. 그러나 최근 Park와 Min에 의하여 점성 및 정련능에 미치는 염기도의 영향을 정량화할 수 있는 척도가 제안되었으며, 이는 각 슬래그 성분의 고유 염기도와 슬래그 중 S²⁻ 이온 등의 열역학적 안정성을 상대적 가중치로서 반영한 것이다.²⁻⁴⁾

새롭게 정의된 슬래그의 염기도 척도, B_S의 물리적 의미는 식 (2)와 같으며, 순수 염기도뿐만 아니라 슬래

그 중 S²⁻ 이온의 상대적 안정성을 반영하기 위하여 양성 산화물인 Al₂O₃의 기여도를 나타내는 계수를 실험적으로 변환함으로써 탈황능(sulfide capacity, C_S²⁻) 평가를 위한 염기도 척도, B_S^{sulfide}를 재정의 하였다.²⁻⁴⁾ 이 때 변환된 Al₂O₃의 계수는 식 (3)과 같은 물리적 의미를 갖는다.

$$B_S = \frac{\{X_{\text{CaO}} + (1.0 + [\log(a_O^{-2})^{\text{BaO}} - \log(a_O^{-2})^{\text{CaO}}]) \cdot X_{\text{BaO}} + (1.0 + [\log(a_O^{-2})^{\text{Na}_2\text{O}} - \log(a_O^{-2})^{\text{CaO}}]) \cdot X_{\text{Na}_2\text{O}} + (1.0 + [\log(a_O^{-2})^{\text{CaO in F-slag}} - \log(a_O^{-2})^{\text{CaO in non-F-slag}}]) \cdot X_{\text{CaF}_2}\}}{\{X_{\text{B}_2\text{O}_3} + (1.0 + [\log(a_O^{-2})^{\text{CaO in silicate}} - \log(a_O^{-2})^{\text{CaO in borate}}]) \cdot X_{\text{SiO}_2} + (1.0 + [\log(a_O^{-2})^{\text{CaO in aluminate}} - \log(a_O^{-2})^{\text{CaO in borate}}]) \cdot X_{\text{Al}_2\text{O}_3}\}} \quad (2)$$

$$\left\{ 1.0 + \left[\log \left(\frac{a_O^{-2}}{f_{S^{2-}}} \right)^{\text{aluminate}} - \log \left(\frac{a_O^{-2}}{f_{S^{2-}}} \right)^{\text{borate}} \right] \right\} \cdot X_{\text{Al}_2\text{O}_3} \quad (3)$$

본 연구에서는 각 계수의 물리적 의미에 관한 자세한 설명은 생략하고, 다음의 결과 식들을 슬래그 설계에 적용하고자 한다.

$$B_S = \frac{(0.78X_{\text{MgO}} + X_{\text{CgO}} + 1.3X_{\text{BaO}} + 2.4X_{\text{Na}_2\text{O}} + 1.3X_{\text{CaF}_2})}{(X_{\text{B}_2\text{O}_3} + 2.6X_{\text{SiO}_2} + 3.8X_{\text{Al}_2\text{O}_3})} \quad (4)$$

$$B_S^{\text{sulfide}} = \frac{(0.78X_{\text{MgO}} + X_{\text{CgO}} + 1.3X_{\text{BaO}} + 2.4X_{\text{Na}_2\text{O}} + 1.3X_{\text{CaF}_2})}{(X_{\text{B}_2\text{O}_3} + 2.6X_{\text{SiO}_2} + 2.8X_{\text{Al}_2\text{O}_3})} \quad (5)$$

식 (2)에 MgO 항을 추가하여 식 (4)와 (5)로 나타내었으며, 계수 0.78은 점성 및 탈황능과 위의 염기도 척도간의 상호 비교에 의하여 비교적 타당한 값으로 평가되었다.

이와 같은 염기도 척도를 이용하여 슬래그의 점성과 탈황능을 각각 다음과 같이 정량화 할 수 있다.²⁻⁴⁾

$$\log(\eta, \text{poise}) = -0.44 + 5.1 \exp \left[-\frac{B_S}{0.24} \right] \quad (r^2 = 0.81) \quad (6)$$

$$\log C_{S^{2-}} = -5.1 + 3.0 B_S^{\text{sulfide}} \quad (r^2 = 0.90) \quad (7)$$

식 (6)과 (7)을 각각 Fig. 1과 2에 나타내었으며, 일반적으로 알려져 있는 제선 및 제강 조업 조건을 함께 나타내어 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

전술한 염기도 척도를 이용하여 다양한 성분을 포함하는 복합 슬래그의 염기도를 예측할 수 있으며, 이를

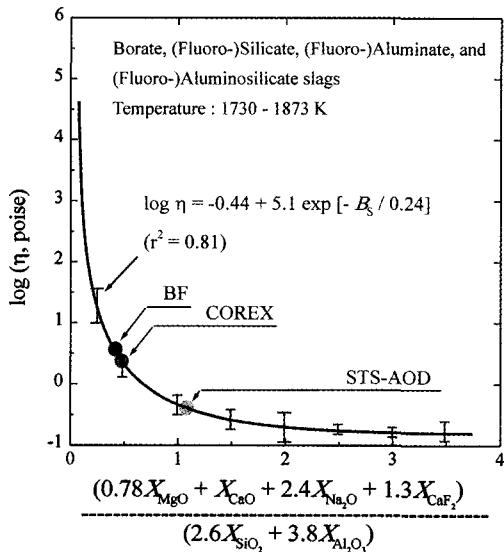


Fig. 1. Relationship between slag viscosity and a new basicity index.

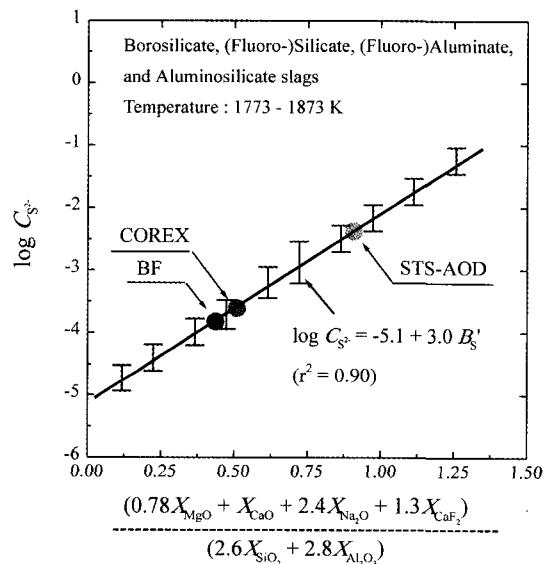


Fig. 2. Sulfide capacity of various slags as function of a new basicity index.

슬래그 점도 및 정련능과 비교 평가함으로써 각 공정별 최적 슬래그를 설계하고자 하였다. 이 때 평가대상 정련능 함수로서는 탈황능을, 평가대상 슬래그는 고로(BF, Blast Furnace) 및 COREX에서의 제선 슬래그와 스테인리스 털탄(STS-AOD) 공정에서 투입되는 제강 슬래

Table 1. Calculated results for the viscosity of BF slags, and [S] and [Si] content in hot metal

No.	CaO (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	C/S	Viscosity (poise)	[S]final (%)	[Si]final (%)
1	49	30	8	3	10	1.63	0.69	0.007	0.32
2	46	30	8	3	13	1.53	0.88	0.010	0.32
3	49	30	5	3	13	1.63	0.89	0.011	0.33
4	46	33	8	3	10	1.39	0.90	0.012	0.35
5	49	33	5	3	10	1.48	0.91	0.012	0.35
6	49	30	8	0	13	1.63	1.01	0.013	0.32
7	49	33	8	0	10	1.48	1.04	0.014	0.35
8	43	30	8	3	16	1.43	1.15	0.014	0.33
9	48	30	5	3	16	1.53	1.17	0.015	0.33
10	43	33	8	3	13	1.30	1.18	0.016	0.35
11	46	33	5	3	13	1.39	1.20	0.016	0.36
12	43	36	8	3	10	1.19	1.21	0.017	0.38
13	46	36	5	3	10	1.28	1.23	0.017	0.39
14	46	30	8	0	16	1.53	1.37	0.017	0.32
15	49	30	5	0	16	1.63	1.39	0.017	0.33
16	46	33	8	0	13	1.39	1.41	0.018	0.35
17	49	33	5	0	13	1.48	1.43	0.018	0.36
18	40	30	8	3	19	1.33	1.58	0.019	0.33
19	43	30	5	3	19	1.43	1.60	0.019	0.33
20	46	36	8	0	10	1.28	1.45	0.019	0.38
21	49	36	5	0	10	1.36	1.47	0.020	0.39
22	40	33	8	3	16	1.21	1.63	0.020	0.36
23	43	33	5	3	16	1.30	1.65	0.020	0.36
24	40	36	8	3	13	1.11	1.67	0.021	0.39
25	43	36	5	3	13	1.49	1.70	0.021	0.39
26	43	30	8	0	19	1.43	1.95	0.022	0.33
27	46	30	5	0	19	1.53	1.98	0.022	0.33
28	40	39	8	3	10	1.03	1.72	0.022	0.41
29	43	39	5	3	10	1.10	1.74	0.022	0.42
30	43	33	8	0	16	1.30	2.00	0.023	0.36

- Temperature: 1773 K
- Slag system: CaO-MgO-Na₂O-SiO₂-Al₂O₃,
- Slag quantity: 30 kg/ton-pig
- Slag composition (mass%): CaO(40-49), MgO(5-8), Na₂O(0-3), SiO₂(25-34), Al₂O₃(10-19)
- Composition variation unit: 3 mass%

그로 한정하였다.

3.1. 고로 슬래그

일반적인 고로 슬래그는 CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃ system 으로 출선 슬래그의 염기도는 약 C/S(mass%CaO/mass%SiO₂)=1.2 수준이다. 그러나 최근 PCI (Pulverized Coal Injection) 조업에 기인한 ash 중 미량의 알칼리 성분들에 의해 hearth 슬래그는 실제로 Na₂O(K₂O)-CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃의 5원계 슬래그로 고려할 수 있으므로, 본 연구에서는 위의 5원계 고로 슬래그를 설계 대상으로 설정하였다.⁵⁾ 슬래그 설계 시 조업 온도는 1773 K, 슬래그 양은 300 kg/ton-pig로 가정하였다. 각 슬래그 성분의 농도 범위 및 식 (6)과 (7)로부터 계산된 점도와 용선 중 [S] 농도, 그리고 용선 중 [Si] 농도를 도출하여 Table 1에 용선 중 [S] 농도 순으로 배열하였다. 여기서 regular solution model을 이용하여 슬래그 중 SiO₂의 활동도를 도출, 용선 중 [Si] 농도 계산

에 적용하였다.⁶⁾

일반적으로 적용되는 조업 슬래그는 CaO-SiO₂-5(-10)MgO-(≤5)Na₂O-10(-15)Al₂O₃(C/S=1.2) 조성으로서 이를 슬래그의 점도는 약 1.5-2.0 poise로, 용선 중 [S]와 [Si] 농도는 각각 약 0.02%, 0.4% 수준으로 평가되었다. 그러나 본 연구에 의해 제시된 46(-49)CaO-30SiO₂-8MgO-3Na₂O-10(-13)Al₂O₃(no. 1, 2) 조성의 슬래그 형성 시 탈황능의 향상과 함께 용선 중 [Si] 농도를 약 0.3% 수준으로 저감할 수 있을 것으로 나타났다. 즉, 슬래그의 염기도를 약 1.2에서 1.5-1.6 수준으로 증가시킴으로써 약 0.7 poise의 점도 및 [S]≤0.01%, [Si]=0.3% 수준의 현재보다 우수한 용선 품질을 얻을 수 있을 것으로 생각되며, 無알칼리 슬래그 조성으로서 최적의 조업 조성으로는 no. 6, 7 system을 들 수 있었다. 반면, PCI 조업 시 ash 중 Al₂O₃에 의해 고농도의 Al₂O₃를 포함한 슬래그가 형성되는 경우, 우수한 용선 품질을 확보할 수 있는 슬래그로서는 no. 8, 9 조성을 고려할 수 있다.

3.2. COREX 슬래그

최근 소결 및 코크스 제조 공정의 생략을 목표로 정립광과 일반탄을 원료로 투입하는 COREX 공법이 개발되었다. COREX 공정에서 정립광의 맥석성분은 대부분 SiO₂와 Al₂O₃이므로, 적정 슬래그 재화 및 용선 탈황을 위해서는 다량의 dolomite(CaMg(CO₃)₂) 투입이 필수적이다. 결과적으로 COREX 슬래그는 고로 슬래그와 유사한 CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃ system으로 일반적인 출선 슬래그의 염기도는 약 C/S=1.1 수준이다. 따라서 본 연구에서는 위의 4원계 COREX 슬래그를 설계 대상으로 설정하였으며, 조업 온도 및 슬래그 양은 고로의 경우와 유사하다는 가정 하에 각각 1773 K와 300 kg/ton-pig로 가정하였다. 각 슬래그 성분의 농도 범위 및 식 (6)과 (7)로부터 계산된 점도와 용선 중 [S] 농도, 그리고 용선 중 [Si] 농도를 Table 2에 나타내었다. 전술한 바와 동일한 방법으로 슬래그 중 SiO₂의 활동도를 도출, 용선 중 [Si] 농도 계산에 적용하였다.

일반적으로 적용되는 조업 슬래그 조성은 CaO-SiO₂-10(-15)MgO-10(-15)Al₂O₃(C/S=1.1) system으로 점도는 약 1.5-2.0 poise, 식 (7)에 의해 계산된 탈황능으로부터 용선 중 [S] 농도는 약 0.02%, 용선 중 [Si] 농도는 약 0.9% 수준임을 알 수 있다. 고로 조업과 비교할 때, 슬래그 점도와 용선 중 [S] 농도는 유사한 반면, 용선 중 [Si] 농도는 2배 이상 높게 나타나고 있다. 그러나

Table 2. Calculated results for the viscosity of COREX slags, and [S] and [Si] content in hot metal

No.	CaO (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	C/S	Viscosity (poise)	[S]final (%)	[Si]final (%)
1	44	30	14	12	1.47	0.90	0.011	0.73
2	44	33	14	9	1.33	0.92	0.012	0.79
3	41	30	14	15	1.37	1.20	0.015	0.74
4	44	30	11	15	1.47	1.22	0.015	0.75
5	41	33	14	12	1.24	1.24	0.016	0.80
6	44	33	11	12	1.33	1.25	0.017	0.81
7	41	36	14	9	1.14	1.27	0.018	0.86
8	44	36	11	9	1.22	1.28	0.018	0.87
9	38	33	14	15	1.15	1.72	0.021	0.81
10	41	33	11	15	1.24	1.75	0.021	0.82
11	44	33	8	15	1.33	1.77	0.021	0.83
12	38	36	14	12	1.06	1.77	0.022	0.87
13	41	36	14	12	1.14	1.89	0.022	0.88
14	44	36	8	12	1.22	1.83	0.022	0.90
15	38	39	14	9	0.97	1.82	0.023	0.94
16	41	39	11	9	1.05	1.85	0.023	0.95
17	44	39	8	9	1.13	1.88	0.023	0.96
18	35	36	14	15	0.97	2.57	0.026	0.89
19	38	36	11	15	1.06	2.62	0.026	0.90
20	41	36	8	15	1.14	2.67	0.026	0.91
21	44	36	5	15	1.22	2.72	0.027	0.92
22	35	39	14	12	0.90	2.65	0.027	0.95
23	38	39	11	12	0.97	2.70	0.027	0.96
24	41	39	8	12	1.05	2.75	0.027	0.97
25	44	39	5	12	1.13	2.80	0.028	0.99
26	35	39	11	15	0.90	4.09	0.031	0.97
27	38	39	8	15	0.97	4.17	0.031	0.99
28	41	39	5	15	1.05	4.26	0.031	1.00

· Temperature: 1773 K

· Slag system: CaO-MgO-SiO₂-Al₂O₃,

Slag quantity: 300 kg/ton-pig

· Slag composition (mass%): CaO(35-44), MgO(5-14), SiO₂(30-39), Al₂O₃(9-15)

· Composition variation unit: 3 mass%

본 연구에서는 44CaO-30(-33)SiO₂-14MgO-9(-12)Al₂O₃(no. 1, 2) 조성의 슬래그 형성 시 탈황능의 향상과 동시에 용선 중 [Si] 농도 또한 0.7-0.8% 수준으로 저감할 수 있음을 알 수 있었다. 즉, 원료 중 SiO₂와 Al₂O₃ 투입량을 약 3-5% 감소시킴으로써 약 0.9 poise의 점도 및 [S]≤0.01%, [Si]=0.8% 수준의 우수한 용선 품질을 확보함과 동시에 슬래그 부피의 저감에 의한 에너지 효율의 향상 효과도 기대할 수 있음을 시사하고 있다.

3.3. Stainless Steel 슬래그

고부가가치 강종인 스테인리스강 제조 공정 중 AOD 혹은 VOD의 정련 공정은 탈탄, 탈산, 탈황 등이 동시에 요구되는 복합적인 정련 공정이다. AOD 공정의 경우 정련조업은 1기의 산화기와 2기의 환원기로 구성되며, 산화기에는 CaO-SiO₂-MgO-FeO-Cr₂O₃ 슬래그를,

Table 3. Calculated results for the viscosity of STS-AOD slags, and [S] content in molten steel

No.	CaO (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	CaF ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	C/S	Viscosity (poise)	[S]final (ppm)
1	59	25	8	8	0	2.36	0.39	15.0
2	59	25	8	5	3	2.36	0.41	19.7
3	56	25	8	8	3	2.24	0.41	19.8
4	59	25	5	8	3	2.36	0.41	19.9
5	59	28	8	5	0	2.11	0.41	20.9
6	56	28	8	8	0	2.00	0.42	20.9
7	59	28	5	8	0	2.11	0.42	21.0
8	56	25	8	5	6	2.24	0.45	22.3
9	53	25	8	8	6	2.12	0.45	22.4
10	59	25	5	5	6	2.36	0.45	22.4
11	56	25	5	8	6	2.24	0.45	22.4
12	56	28	8	5	3	2.00	0.46	22.9
13	53	28	8	8	3	1.89	0.46	22.9
14	59	28	5	5	3	2.11	0.46	22.9
15	56	28	5	8	3	2.00	0.46	22.9
16	59	25	8	0	8	2.36	0.49	23.2
17	56	31	8	5	0	1.81	0.46	23.3
18	53	31	8	8	0	1.71	0.46	23.3
19	59	31	5	5	0	1.90	0.46	23.3
20	56	31	5	8	0	1.81	0.46	23.3
21	59	28	8	0	5	2.11	0.49	23.6
22	53	25	8	5	9	2.12	0.51	23.6
23	50	25	8	8	9	2.00	0.52	23.6
24	56	25	5	5	9	2.24	0.52	23.6
25	53	25	5	8	9	2.12	0.52	23.6
26	59	31	8	0	2	1.90	0.50	23.8
27	53	28	8	5	6	1.89	0.52	23.9
28	50	28	8	8	6	1.79	0.52	23.9
29	56	28	5	5	6	2.00	0.52	23.9
30	53	28	5	8	6	1.89	0.53	23.9

- Temperature: 1873 K
- Slag 80 kg, Molten steel: 1 metric ton
- Slag system: CaO-MgO-SiO₂-Al₂O₃-CaF₂
- Slag composition (mass%): CaO(50-59), MgO(5-8), SiO₂(25-34), Al₂O₃(0-9), CaF₂(0-8)
- Composition variation unit: 3 mass%

환원기에는 CaO-SiO₂-MgO-CaF₂-Al₂O₃ 슬래그를 형성, 일반적인 304 STS(18Cr+8Ni)-AOD 조업 슬래그의 염기도는 약 C/S=1.7-2.2로서 매우 고염기성 슬래그를 유지하고 있다. 환원기 AOD 슬래그의 경우 조업 온도 및 슬래그 양은 각각 1873 K와 80 kg/ton-steel로 가정하였다. 각 슬래그 성분의 농도 범위 및 슬래그 점도, 용강 중 [S] 농도를 Table 3에 나타내었다.

일반적인 조업 슬래그 조성은 CaO-SiO₂-5(-10)MgO-5(-10)CaF₂-(≤5)Al₂O₃(C/S=1.7-2.2) system으로 슬래그 점도는 약 0.4-0.5 poise, 용강 중 [S] 농도는 약 20-23 ppm 수준임을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서는 59CaO-25SiO₂-8MgO-5(-8)CaF₂-(≤3)Al₂O₃ (no. 1, 2) 조성의 슬래그 형성 시 이론적 정련 한계에 도달할 수 있는 것으로 평가되었다. 즉, 원료 중 CaO 투입량을

소량 증가시킴으로써 약 0.4 poise 이하의 점도 및 [S]≤20 ppm 수준을 달성할 수 있을 것으로 제시할 수 있다.

한편, 제강 조업 시 초기 슬래그 재화 및 유동성 향상을 위해 첨가되는 CaF₂는 미국의 OSHA(Occational Safety and Health Administration) 및 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) 등에 의해 사용 규제가 되고 있다.^{7,8)} 따라서 슬래그 중 CaF₂의 사용 억제를 위한 적극적 대응방안으로서 슬래그 유동성 및 정련능을 확보할 수 있는 슬래그 최적화 기술이 절실히 실정이다. Table 3 으로부터 현재 수준의 용강 품질을 확보할 수 있는 無형석 슬래그 조성으로서 59CaO-25SiO₂-8MgO-8Al₂O₃(no. 16) system을 들 수 있으며, (CaO+Al₂O₃)로서 CaF₂의 대체 가능성을 확인 할 수 있었다. 이는 aluminosilicate 슬래그 중 Al₂O₃의 양성적 거동에 기인하는 것으로 생각된다.⁹⁾

4. 결 론

21세기 철강산업에 요구되는 경제성, 환경친화성, 고효율성이 대응할 수 있는 슬래그 정련조업 조건을 도출할 목적으로 기존의 제선 및 제강 공정 조건을 슬래그 엔지니어링 개념에 입각하여 평가함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고로 공정의 경우, 기존의 슬래그 조성에 대해 C/S 비를 1.2에서 1.5-1.6 수준으로 증가시킴으로써 우수한 로내 통액성 및 향상된 용선 품질 ([S]≤0.01%, [Si]=0.3%) 확보가 가능한 것으로 평가되었다.
2. COREX 조업에서는 기존의 슬래그 조성에 대해 SiO₂와 Al₂O₃의 농도를 약 3-5% 감소시킴으로써 보다 우수한 유동성 및 정련능 ([S]=0.01%, [Si]≤0.8%) 확보가 가능한 것으로 평가되었으며, 이는 슬래그 부피 저감에 의한 에너지 효율의 향상을 시사하고 있다.
3. STS-AOD 공정의 경우, 기존의 슬래그 조성에 대해 소량의 CaO 농도 증가를 통하여 현재보다 양호한 정련능([S]≤20 ppm) 확보가 가능함을 알 수 있었다. 또한, 슬래그 중(CaO+Al₂O₃) 농도 증가를 통해 제강 공정에서 CaF₂의 사용 억제를 달성할 수 있을 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 논문은 포항제철의 도움에 의하여 작성되었으며,

이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. IISI homepage : http://www.worldsteel.org/trends_indicators/world.html.
2. J. H. Park and D. J. Min : Proc. 6th Int. Conf. Molten Slags, Fluxes, and Salts, Stockholm and Helsinki, 2000, CD-ROM paper 030.
3. J. H. Park and D. J. Min : Proc. Int. Cong. Min. Process. Extract. Metall. (MINPREX 2000), Melbourne, 2000, AusIMM, Melbourne, pp. 439-44.
4. J. H. Park and D. J. Min : J. Kor. Inst. Met. Mater., 39 (2001), in print.
5. A. McLean, Y. D. Yang, I. D. Sommerville, Y. Uchida, and M. Iwase : Proc. 6th Int. Conf. Molten Slags, Fluxes, and Salts, Stockholm and Helsinki, 2000, CD-ROM paper 109.
6. S. Ban-ya : ISIJ Int., 33 (1993), pp. 2-11.
7. C. T. Norback (ed.) : Hazardous Chemicals on File, Facts on File Publications, New York, 1988.
8. K. Shimizu : Evaporation Phenomena of Fluorine-Containing Melts, Ph.D. Thesis, Carnegie Mellon University, 1998.
9. L. Zhang, S. Jahanshahi : Proc. 6th Int. Conf. Molten Slags, Fluxes, and Salts, Stockholm and Helsinki, 2000, CD-ROM paper 008.



閔 東 晉

- 1980년 연세대학교 금속공학과 공학사
- 1984년 연세대학교 금속공학과 공학석사
- 1988년 동경대학교(일본) 금속공학과 공학박사
- 현재 연세대학교 재료공학부 금속공학 전공 책임교수



宋 孝 錫

- 1982년 연세대학교 금속공학과 공학사
- 1984년 연세대학교 금속공학과 공학석사
- 1997년 포항공과대학교 재료금속공학과 공학박사
- 현재 포항제철 기술연구소 스테인레스 연구팀 책임연구원



朴 柱 炫

- 1997년 연세대학교 금속공학과 공학사
- 1999년 연세대학교 금속공학과 공학석사
- 현재 연세대학교 금속공학과 박사과정